

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

FACULTADE DE MEDICINA E ODONTOLOXÍA

TRABALLO FIN DE GRAO DE MEDICINA

Título do TFG: Aplicación del microscopio virtual a la docencia de Anatomía Patológica para estudiantes de Medicina

Autora: Marta Oitavén Soengas

Titor: Máximo Francisco Fraga Rodríguez

Departamento: Anatomía Patológica

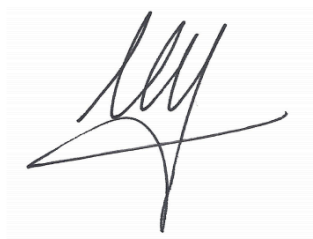
Curso académico: 2019-2020

Convocatoria: Junio

Máximo Fco. Fraga Rodríguez, Catedrático de Anatomía Patológica. Departamento de Ciencias Forenses, Anatomía Patológica, Ginecología y Obstetricia y Pediatría. Área de conocimiento de Anatomía Patológica. Facultad de Medicina de la Universidad de Santiago de Compostela.

HACE CONSTAR que la memoria del Trabajo de Fin de Grado-Master, titulado “Aplicación del microscopio virtual a la docencia de Anatomía Patológica para estudiantes de Medicina” ha sido realizado en el área de conocimiento de Anatomía Patológica del Departamento de Ciencias Forenses, Anatomía Patológica, Ginecología y Obstetricia y Pediatría bajo su dirección y cumple los requisitos legales para su presentación y defensa ante el tribunal correspondiente para aspirar a la titulación del Grado-Master en Medicina y Cirugía.

Lo que firma a los efectos oportunos, en Santiago de Compostela, el 12 de junio de 2020

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

A Máximo Fraga, por ayudarme a enfocar y revisar este trabajo.

A mi familia y amigos por apoyarme durante el camino.

A Ana y a Nico, por hacerme un poquito menos desastre y estar siempre ahí.

1 ÍNDICE

1	ÍNDICE	7
2	RESUMEN.....	9
3	INTRODUCCIÓN	13
4	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	17
4.1	JUSTIFICACIÓN.....	17
4.2	OBJETIVOS	18
4.2.1	Objetivo principal.....	18
4.2.2	Objetivos secundarios.....	18
5	MATERIALES Y MÉTODOS..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
5.1	DISEÑO	19
5.2	ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA	19
5.3	CRITERIOS DE SELECCIÓN	19
5.3.1	Criterios de inclusión.....	19
5.3.2	Criterios de exclusión	19
6	RESULTADOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.1	RENDIMIENTO ACADÉMICO.....	22
6.2	RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS A ESTUDIANTES.....	24
6.2.1	Preferencia global	24
6.2.2	Motivación de los estudiantes.....	26
6.2.3	Colaboración.....	27
6.2.4	Efectividad y facilidad de uso de los microscopios virtuales.....	27
6.2.5	Calidad de imagen de las preparaciones.....	28
6.2.6	Accesibilidad	28
6.3	RECURSOS DE LA PÁGINA DEL MICROSCOPIO VIRTUAL VALORADOS DE FORMA POSITIVA POR LOS ESTUDIANTES	29
6.3.1	Comparar	¡Error! Marcador no definido.
6.3.2	Anotaciones	29
6.3.3	Forma de aprendizaje deseada	30
7	DISCUSIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
7.1	VENTAJAS DEL MICROSCOPIO VIRTUAL.....	32
7.1.1	Rendimiento académico	32
7.1.2	Accesibilidad	32

7.1.3	Duplicación de muestras	33
7.1.4	Eficacia uso	34
7.1.5	Beneficios pedagógicos.....	35
7.1.6	Ventajas para los profesores	35
7.2	DESVENTAJAS.....	36
7.2.1	Perdida de habilidades manuales	36
7.2.2	Microscopios virtuales y más tecnología en las aulas; Error! Marcador no definido.	
7.3	COSTES DE LOS MICROSCOPIOS VIRTUALES.....	37
8	CONCLUSIÓN	39
9	REFERENCIAS	40

2 RESUMEN

Introducción: El análisis de preparaciones histológicas mediante microscopio óptico es fundamental para el aprendizaje de Anatomía Patológica. Como adaptación del microscopio óptico al mundo digital surgen los microscopios virtuales. Estos microscopios permiten escanear una muestra completa y crear un único archivo con la imagen en alta resolución de toda la preparación histológica.

La digitalización de muestras histológicas permite una mayor accesibilidad, así como un menor coste de mantenimiento de muestras y microscopios. Por ello los microscopios virtuales han sido incorporados a los programas de formación de muchas universidades. El objetivo de este TFG es conocer el impacto de la incorporación de estos instrumentos a la docencia de la asignatura de Anatomía Patológica.

Material y métodos: Se ha realizado una revisión bibliográfica de tipo narrativo en el que se recogen dieciséis publicaciones que valoran la introducción del microscopio virtual en otras universidades.

Resultados: En los estudios incluidos se ha observado que el microscopio virtual no es inferior al tradicional en cuanto al rendimiento académico. Además, presenta ventajas como mayor facilidad de uso y accesibilidad desde fuera del laboratorio, en un horario flexible y adaptado a las necesidades de cada estudiante. El microscopio virtual permite que los estudiantes puedan trabajar de forma independiente y aprender a buscar respuestas por sí mismos.

Las encuestas constatan que la mayoría de los alumnos se benefician del microscopio virtual y lo emplean, tanto de forma individual como cooperativa, para el estudio de las muestras histológicas. Los estudiantes encuentran útil que las preparaciones digitales se acompañen de un texto explicativo y que el programa empleado les permita añadir anotaciones en las láminas virtuales, ya que de esta forma proporcionan una buena base para tomar notas y para el posterior estudio de la asignatura. Además, encuentran de gran utilidad ciertas características del microscopio virtual, como la posibilidad de comparar varias muestras a la vez o utilizarlo de forma cooperativa.

Conclusión: La adopción del microscopio virtual es beneficiosa de acuerdo con el rendimiento académico y la valoración de alumnos y profesores.

RESUMO

Introdución: A análise de preparados histolóxicos por microscopio óptico é esencial para a aprendizaxe de Anatomía Patolóxica. Como adaptación do microscopio óptico ao mundo dixital, aparecen os microscopios virtuais. Estes microscopios permiten dixitalizar unha mostra completa e crear un único ficheiro coa imaxe en alta resolución de toda a preparación histolóxica.

A dixitalización de mostras histolóxicas permite unha maior accesibilidade, así como un menor custo de mantemento de mostras e microscopios. Por este motivo, os microscopios virtuais incorporáronse aos programas de formación de moitas universidades. O obxectivo deste TFG é coñecer o impacto da incorporación destes instrumentos no ensino de Anatomía Patolóxica.

Material e métodos: Realizouse unha revisión bibliográfica de tipo narrativo que inclúe dezaseis publicacións que valoran a introdución do microscopio virtual noutras universidades.

Resultados: Nos estudos incluídos observouse que o microscopio virtual non é inferior ao tradicional en termos de rendemento académico. Ademais, ten outras vantaxes como unha maior facilidade de uso e accesibilidade dende fóra do laboratorio, nun horario flexible adaptado ás necesidades de cada alumno. O microscopio virtual permite aos estudantes traballar de xeito independente e aprender a buscar respostas por si mesmos.

As enquisas confirman que a maioría dos estudantes benefíciáanse do microscopio virtual e úsano, tanto individualmente como de xeito cooperativo, para estudar mostras histolóxicas. Os estudantes atopan de gran utilidade que as láminas dixitais se acompañen dun texto explicativo e que o programa empregado lles permita engadir anotacións nas diapositivas virtuais, xa que deste xeito proporcionan unha boa base para tomar notas e para o posterior estudo da materia. Ademais, atopan moi útiles certas características do microscopio virtual, como a posibilidade de comparar varias mostras ao mesmo tempo ou empregalo de xeito cooperativo.

Conclusión: A adopción do microscopio virtual é beneficiosa de acordo co rendemento académico e a avaliación de estudantes e profesores.

ABSTRACT

Introduction: The analysis of histological preparations by light microscope is essential for learning Pathology. Virtual microscopes arise as an adaptation of the optical microscope to the digital world. These microscopes allow scanning a complete sample and creating a single file with a high-resolution image of the entire histological slide.

The digitization of histological samples allows greater accessibility, as well as a lower cost of maintenance of slides and microscopes. Thus, virtual microscopes have been incorporated into the training programs of many universities. The objective of this review is to analyze the impact of the incorporation of these instruments in the teaching of Pathology.

Material and methods: The current study provides an evaluation of the introduction of the virtual microscope in sixteen universities using a bibliographic review approach.

Results: It has been observed that the virtual microscope is not inferior to the traditional one in terms of academic performance. In addition, it has other advantages such as greater ease of use and accessibility from outside the laboratory, in a flexible schedule adapted to the needs of each student. The virtual microscope allows students to work independently and learn to search for answers for themselves.

Surveys confirm that most students benefit from the virtual microscope and use it, both individually and cooperatively, to study histological samples. Students find useful that the digital preparations are accompanied by an explanatory text and that the software allows them to add annotations on the virtual slides, since in this way they provide a good basis for taking notes and for the subsequent study of the subject. Furthermore, they find very useful certain characteristics of the virtual microscope, such as the possibility of comparing several samples at the same time or using it cooperatively.

Conclusions: The adoption of the virtual microscope is beneficial as measured by the academic performance and the perception of students and teachers.

3 INTRODUCCIÓN

A medida que ha ido avanzando la historia, la humanidad siempre fue desarrollando nuevas técnicas e instrumentos para facilitar y automatizar las tareas cotidianas. Desde la rueda hasta el coche, estos inventos han evolucionado en complejidad para alcanzar el nivel de conocimientos y herramientas de las que disponemos ahora. En pleno siglo XXI, los ordenadores sirven como medio de transmisión y tratamiento de la información en todos los ámbitos.

3.1 TECNOLOGÍA EN LAS AULAS

Gracias a la extensión de la informática en la sociedad, las nuevas tecnologías fueron penetrando en la docencia. Comenzando con las impresoras y los proyectores, que facilitaban el trabajo a los profesores de cara a distribuir los contenidos durante las clases, han ido incorporándose cada vez más elementos tecnológicos a las aulas.

En la actualidad, el uso de internet resulta tremendamente beneficioso tanto para alumnos como para profesores, ya que pone a disposición de todos un gran repositorio de información. Esto es muy conveniente de cara a la resolución de dudas por parte de los alumnos o a la búsqueda de nuevos contenidos actualizados para los profesores.

Dado que la tecnología cada vez resulta más accesible, es frecuente que tanto alumnos como profesores hagan uso de ordenadores durante las clases. Así, los profesores pueden compartir su pantalla con el fin de presentar la materia y los alumnos pueden tomar apuntes o realizar consultas de manera eficiente.

Es común disponer de plataformas virtuales, gracias a las cuales se establece una vía de comunicación virtual entre alumnos y profesores. Resultan muy útiles para que los profesores distribuyan contenidos que ya tenían digitalizados o compartan material multimedia adicional. Además, abren una nueva vía de comunicación bilateral muy beneficiosa para la docencia.

3.2 HISTORIA DEL MICROSCOPIO

De la misma forma que la tecnología ganó su espacio en la docencia, previamente ya había penetrado en las ciencias de la salud. Un claro ejemplo de los avances que supuso puede encontrarse en el microscopio, la herramienta principal para el estudio y la docencia de ciencias como Biología, Citología, Histología o Patología (Coleman, 2009).

El término microscopio deriva etimológicamente del griego *mikrós* (pequeño) y *skoopéo* (observar) (Arraiza *et al.*, 2009). Se emplea para ver los objetos demasiado pequeños para ser observados a simple vista.

El primer microscopio óptico data de 1590, cuya construcción se atribuye a los hermanos Hans y Zacharias Jansen. En el siglo XVII, con Anthony van Leeuwenhök, el microscopio se comienza a emplear para observar el mundo microscópico de manera sistemática e inicia una revolución en las ciencias naturales y morfológicas. (Rodríguez, 2017). Con el tiempo, este instrumento se ha ido perfeccionando, convirtiéndose en una herramienta imprescindible para el diagnóstico clínico, la enseñanza y la investigación.

A finales de los 90 se empieza a hablar de la microscopía virtual o WSI por sus siglas en inglés (Whole Slide Imaging)(Pantanowitz, Farahani and Parwani, 2015) que consiste en la digitalización de las preparaciones físicas en resolución completa y su presentación mediante un programa que simula a un microscopio óptico, sin contacto directo con este (Gu and Ogilvie, 2005).

Las muestras digitales se obtienen mayoritariamente a través de microscopios específicos para este fin, que las escanean de forma automática. También se pueden producir uniendo varias fotos tomadas a través del microscopio óptico de forma manual (Glatz-Krieger, Glatz and Mihatsch, 2003) . El primer escáner para obtener láminas virtuales costaba sobre 300.000 dólares y tardaba más de 24 h en escanear una única lámina. La mayoría de los escáneres modernos son capaces de hacerlo en cuestión de minutos (Pantanowitz, Farahani and Parwani, 2015).

Para la obtención de una lámina visible con el microscopio virtual es necesario llevar a cabo la digitalización de la muestra. Después, esta debe ser procesada y almacenada, para permitir su visualización (Alfaro Ferreres, García Rojo and Puras Gil, 2001). En la Figura 1 se muestra el proceso de obtención de una preparación virtual (Marín and Romero, 2011)

La adquisición de imágenes de microscopía se realiza mediante fotografías de secciones adyacentes a gran aumento que son posteriormente fusionadas por un programa de forma automática. Para generar imágenes a menores aumentos, que sirvan de guía para el patólogo, se unen las fotografías a mayor aumento y se visualizan a menor resolución. Este proceso se puede realizar mediante escáneres robotizados y un software específico que lo ejecute de manera automática o de forma más rudimentaria, tomando y uniendo las imágenes adyacentes de forma manual (Alfaro Ferreres, García Rojo and Puras Gil, 2001).

La biblioteca de muestras histológicas se suele almacenar en un servidor con una base de datos ordenada con las distintas preparaciones. Para que las imágenes no ocupen tanto espacio en los servidores es posible comprimirlas y reducir su tamaño. El formato de compresión de imágenes se selecciona en función de la pérdida de datos que se esté dispuesta a sacrificar para reducir las necesidades de almacenamiento (Marín and Romero, 2011).

La visualización de las preparaciones virtuales se puede realizar a través de cualquier ordenador con conexión a internet y acceso a la base de datos donde se encuentren las preparaciones. Para ello se emplean diseños de página web o aplicaciones para la visualización de imágenes. Desde el programa de visualización el usuario puede seleccionar la muestra que desea inspeccionar, que inicialmente se mostrará a poco aumento. Desde este punto se puede seleccionar la zona de la preparación que desea ver a mayor aumento como si cambiase de objetivo. (Alfaro Ferreres, García Rojo and Puras Gil, 2001). Es posible desplazarse por la muestra como si se tratase de un microscopio óptico, con la ventaja de poder realizar anotaciones en la misma o ver varias muestras a la vez para su comparación.

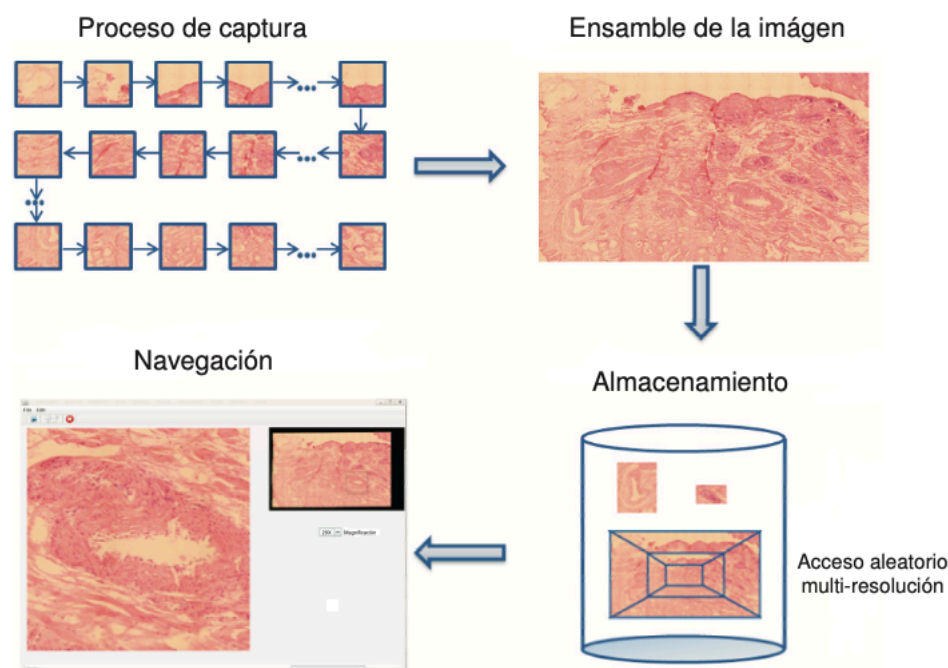


Figura 1: Proceso de digitalización de una preparación (Marín and Romero, 2011).

3.3 MICROSCOPIOS VIRTUALES EN LA CLÍNICA

El uso clínico de los microscopios virtuales ha sido validado en diversos estudios, que demuestran su no inferioridad frente al tradicional (Pantanowitz *et al.*, 2013). Se ha comprobado que el microscopio virtual es completamente válido para la realización de diagnósticos primarios o definitivos (Molin, Thorstenson and Lundström, 2014; Mukhopadhyay *et al.*, 2018).

Una de las características de los microscopios virtuales es que permiten el estudio de muestras histológicas a distancia. A esto se le conoce como telepatología. Esta rama de la telemedicina ha crecido enormemente en los últimos años con la llegada de internet (Ferrer-Roca, 2001). Enviar las muestras digitalizadas a patólogos de otros lugares facilita las segundas opiniones y que el diagnóstico lo puedan realizar expertos en cada patología concreta (Coleman, 2009).

En función de la interacción entre el patólogo y la preparación, la telepatología puede ser estática, robotizada presencial o a través de microscopios virtuales (Alfaro Ferreres, García Rojo and Puras Gil, 2001).

La telepatología robotizada hace referencia al control de un microscopio de forma remota que permite acceder a la muestra. En el microscopio virtual, el tiempo de acceso inicial a la muestra es un poco superior, ya que requiere que la preparación sea capturada y digitalizada para su visualización por el patólogo a distancia.

Una ventaja del microscopio virtual sobre la telepatología robótica reside en que solo es necesario emplear el escáner en la fase de captura de la imagen. Además requiere un menor ancho de banda y permite enviar y visualizar varias muestras de forma simultánea (Alfaro Ferreres, García Rojo and Puras Gil, 2001).

Los recientes avances tecnológicos han mejorado la calidad del escáner de muestras virtuales y reducido el coste de almacenamiento, lo que contribuye a que los microscopios virtuales sean empleados para el diagnóstico de manera rutinaria (Molin, Thorstenson and Lundström, 2014).

3.4 LOS MICROSCOPIOS EN LA DOCENCIA DE ANATOMÍA PATOLÓGICA

La Anatomía Patológica es la disciplina que se encarga de analizar la estructura celular para entender las enfermedades a nivel morfológico y molecular. El elemento fundamental de trabajo del patólogo es el microscopio óptico.

La docencia de esta disciplina tiene como misión fundamental que los estudiantes aprendan a reconocer las características morfológicas más importantes de cada una de las enfermedades en relación con su clínica. En el programa de esta asignatura se incluyen sesiones de laboratorio que, tradicionalmente, se llevan a cabo mediante la inspección de muestras con un microscopio óptico.

Muchos profesores optan por una docencia combinada en la que se mezclan elementos digitales con las clases magistrales tradicionales para así satisfacer las necesidades de aprendizaje de los alumnos y conseguir una mayor motivación y participación de estos (Khalil, Abdel Meguid and Elkhider, 2018).

Dado que los profesores están acostumbrados al uso de nuevas tecnologías estas no suponen un reto para ellos. Los alumnos son nativos digitales y suelen disponer de ordenadores portátiles o teléfonos inteligentes desde los que acceder a los recursos (Pickering and Swinnerton, 2019). Por todo ello, las universidades cuentan con un contexto favorable para la introducción de nuevas tecnologías.

Esta predisposición hacia las nuevas tecnologías tanto por parte de los alumnos como de los profesores, combinado con los recientes avances en el microscopio virtual, ha propiciado que muchas instituciones académicas lo hayan implementado como herramienta didáctica (Drake, McBride and Pawlina, 2014). La función del microscopio virtual en este ámbito será sustituir o complementar al microscopio óptico en las prácticas de laboratorio.

4 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

4.1 JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas hemos visto cómo la mayoría de los ámbitos de la vida se actualizan con la llegada de nuevas tecnologías y las aulas no son una excepción. Las clases están llenas de alumnos tomando notas con portátiles, que poco a poco van sustituyendo a los apuntes escritos a mano. Son muchos los estudiantes que prefieren buscar en internet el equivalente digital del libro antes que acudir al formato físico de este y cada vez son más los profesores que optan por subir una copia digital de sus apuntes a los Campus Virtuales.

A principios de los 90 se empieza a hablar de la microscopía virtual o WSI por sus siglas en inglés (Whole Slide Imaging) (Gu and Ogilvie, 2005). De forma gradual, se empiezan a implementar en la docencia ya que dan solución a algunas de las limitaciones que presentan los microscopios convencionales:

- Los portaobjetos físicos sólo pueden ser observados por una persona, por lo que son necesarias múltiples muestras repetidas para que puedan disponer de ellas varios alumnos a la vez. Duplicar las preparaciones en ocasiones resulta complicado por el pequeño tamaño de la biopsia del que se dispone o por ser láminas difíciles de elaborar (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010).
- Las láminas de vidrio son frágiles por lo que deben ser reemplazadas con el tiempo, lo que incrementa el trabajo que tienen que realizar los profesores encargados de las prácticas de laboratorio (Coleman, 2009).
- Algunas técnicas, como la inmunofluorescencia, solo permiten visualizar la preparación un tiempo tras su realización y algunos tejidos no se conservan con el paso del tiempo (Marín and Romero, 2011).
- Los microscopios ópticos son instrumentos costosos, por lo que la mayoría de los que disponen los alumnos son antiguos y tienen una calidad de imagen inferior. Esto hace más difícil interpretar el tejido que está siendo estudiado (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010).
- Los alumnos no pueden disponer de los microscopios convencionales fuera del horario lectivo, lo que les lleva a recurrir a atlas con imágenes estáticas. Estas imágenes no permiten que ellos puedan adquirir la práctica en la inspección de preparaciones que sí podrían obtener con un microscopio virtual.

Con la paulatina disminución del coste del hardware y software informático, así como una mayor facilidad para almacenar y transmitir información (Coleman, 2009), cada vez es más fácil que los laboratorios se actualicen a la era digital y que los estudiantes empleen los microscopios virtuales.

Todo esto justifica la necesidad de un estudio sobre el impacto diferencial del uso del microscopio virtual frente al tradicional en el aprendizaje y rendimiento académico de los estudiantes de Anatomía Patológica.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo principal

El objetivo principal de este TFG es determinar el impacto de la incorporación de microscopios virtuales a la docencia de Anatomía Patológica, incidiendo en el rendimiento académico y las preferencias de los profesores y estudiantes.

4.2.2 Objetivos secundarios

De acuerdo con el objetivo principal se pretende profundizar en las diferencias del microscopio virtual frente al óptico en cuanto a:

- La facilidad de uso y rapidez para visualizar estructuras histológicas.
- Las características técnicas: resolución, enfoque...
- La accesibilidad.
- El autoaprendizaje y la colaboración entre estudiantes.
- La motivación de los estudiantes.
- La efectividad de uso.
- Los elementos adicionales que son útiles para los estudiantes.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 DISEÑO

En este estudio se ha realizado una revisión bibliográfica de tipo narrativo, durante el período de tiempo desde octubre de 2019 hasta el abril de 2020, de documentos presentes en la base de datos biomédica Pubmed. Se han aceptado los artículos y documentos más relevantes sobre Microscopía Virtual en la docencia publicados desde 1995, incidiendo principalmente en aquellos artículos que tratan de la implementación de éstos en la docencia para estudiantes de Medicina. La búsqueda ha sido realizada en inglés.

5.2 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Las palabras clave utilizadas para la búsqueda han sido:

(virtual microscope OR whole slide imaging) AND medical AND (education OR students)

5.3 CRITERIOS DE SELECCIÓN

5.3.1 Criterios de inclusión

- Artículos originales publicados entre el año 1995 y diciembre de 2019, gratuitos, escritos en castellano o inglés.
- Artículos que versan acerca del uso de microscopios virtuales en estudiantes de alguna carrera de la rama sanitaria.

5.3.2 Criterios de exclusión

- Con fecha de publicación previa a 1995.
- Validan los microscopios virtuales como herramienta diagnóstica.
- Tratan de los microscopios virtuales sin centrarse en su uso en la docencia.
- Recogen su uso en la docencia en estudiantes no universitarios.
- Parecían inadecuados tras la lectura de su resumen para responder los objetivos de este TFG.

6 RESULTADOS

La búsqueda en la base de datos Pubmed se realizó utilizando las palabras clave “(*virtual microscope OR whole slide imaging*) AND *medical AND (education OR students)*”. Esta búsqueda identificó 221 artículos publicados entre 1995 y el 19 de octubre 2019 sobre el uso del microscopio virtual en la docencia de estudiantes de Medicina. A partir de la lectura del *abstract* de los artículos en inglés de acceso gratuito, se seleccionaron aquellos que respondían a los objetivos del presente estudio. Posteriormente se revisaron 28 artículos, de los cuales 12 fueron finalmente excluidos de esta revisión por no cumplir los criterios de selección.

La búsqueda inicial en la base de datos mostró un gran aumento en el número de artículos que informan sobre la introducción del microscopio virtual a la docencia a partir del año 2010. En la década del 2000 se publicaban de media 5.3 publicaciones al año (SD 3.3), mientras que en la del 2010 la media asciende a 16.5 (SD 6.04). La evolución de este número de artículos puede observarse en la Figura 1.

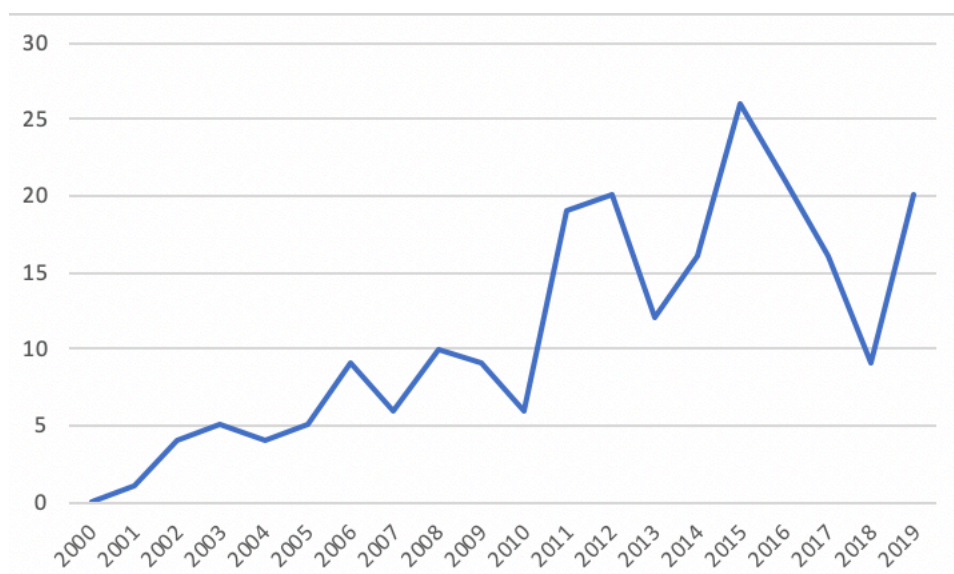


Figura 1: Publicaciones sobre el uso del microscopio virtual en la docencia

Las publicaciones seleccionadas en el presente estudio se realizan sobre una muestra de estudiantes de Medicina y de otras ramas sanitarias que empleaban el laboratorio de Histología y Anatomía Patológica. En los artículos se emplearon dos tipos de fuentes: en algunos de ellos se realizaron encuestas a alumnos y profesores; en otros se llevaron a cabo análisis comparativos de los resultados de exámenes entre dos grupos: uno cuya docencia se realiza con microscopio óptico y otro con microscopio virtual. La finalidad de los análisis de rendimiento académico es determinar si la microscopía virtual es una herramienta válida para el estudio de preparaciones histológicas.

De los 16 artículos, siete evaluaron el rendimiento de los estudiantes que usaban microscopio virtual y microscopio tradicional mediante exámenes. Algunos de estos artículos emplean un control histórico frente a un grupo experimental y otros hacen uso de un diseño cruzado, en el que el mismo grupo de estudiantes emplea ambos instrumentos. Las encuestas a estudiantes fueron utilizadas en 14 de los artículos. Varias publicaciones incluían en las encuestas un espacio para que alumnos y profesores pudiesen añadir comentarios a mayores.

Quince de los 16 incluían una muestra de estudiantes de Medicina y otras ramas sanitarias. Dos de ellos también incluían una muestra de profesores. El total de la muestra presente en esta revisión comprende a una población de 4417 alumnos y de 28 profesores. Las características y el tamaño muestral del grupo analizado en cada artículo se recoge en la Tabla 1.

Artículo	Características de los participantes	Número participantes
Harris et al., 2001	Estudiantes de Medicina que cursan la asignatura de Histología	39
Blake, Lavoie and Millette, 2003	Estudiantes de Medicina de primer año que cursan la asignatura de Histología	70
Kumar et al., 2006	Estudiantes de Medicina de primer y segundo año cursando las asignaturas de Histología e Histopatología	365
Braun and Kearns, 2008	Estudiantes de Medicina de primer y segundo año que cursan la asignatura de Patología Humana	69
Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010	Estudiantes de Medicina de tercero, cuarto y quinto año que han cursado la asignatura de Histopatología General y Avanzada	192
Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012	Estudiantes de Medicina que cursan la asignatura de Histología	280
Collier et al., 2012	Profesores y ayudantes docentes de la asignatura de Anatomía Humana	12
Helle, Nivala and Kronqvist, 2013	Estudiantes de Medicina de segundo año cursando la asignatura de Patología básica	126

Mione, Valcke and Cornelissen, 2013	Estudiantes de primer año de Ciencias biomédicas y Ciencias Logopédicas y Audiológicas que cursan la asignatura de Histología	199
Carlson et al., 2014	Estudiantes de Medicina que cursan la asignatura de Hematología	41
Gatumu et al., 2014	Estudiantes de Medicina (500), Odontología (170) y Veterinaria (240) de primer y segundo año que tienen prácticas en el laboratorio de Histología	910
Tian et al., 2014	Estudiantes de Medicina de segundo año que cursan la asignatura de Histología	229
Brochhausen et al., 2015	Estudiantes de Medicina de tercer año que cursaban las asignaturas de Patología General o Especial	216
Sağol et al., 2015	Estudiantes de Medicina de segundo y tercer año que cursan la asignatura de Patología	248
Vainer et al., 2017	Estudiantes de Medicina que cursan la asignatura de Patología	120
Lee et al., 2019	Estudiantes de medicina de tercer año que cursan histología (662) y de cuarto que cursan patología (651) y docentes de Histología y Patología (16)	1329

Tabla 1: Características de la población analizada en cada artículo.

6.1 RENDIMIENTO ACADÉMICO

La evaluación del rendimiento académico mediante exámenes se empleó en siete de los 16 artículos. En general, indican que no hay diferencias significativas en la utilización de uno u otro método (Braun and Kearns, 2008; Mione, Valcke and Cornelissen, 2013; Carlson *et al.*, 2014). En cambio, otros encuentran que el microscopio virtual es superior en el rendimiento académico de los estudiantes (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013; Tian *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2019).

Tres de las evaluaciones (Anyanwu, Agu and Anyachie, 2012; Mione, Valcke and Cornelissen, 2013; Carlson *et al.*, 2014) se realizaron con un diseño cruzado (v. más adelante) y las cuatro restantes mediante la evaluación de casos y controles, dos de ellas utilizando controles históricos (Braun and Kearns, 2008; Helle, Nivala and Kronqvist, 2013).

En la Tabla 2 se encuentra un resumen del rendimiento académico observado en cada publicación analizada.

Artículo	Resultados en rendimiento académico
Braun and Kearns, 2008	No se encontraron diferencias significativas
Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012	Mejores resultados en los exámenes que se realizaban utilizando microscopio virtual.
Helle, Nivala and Kronqvist, 2013	Mejores resultados en histología utilizando microscopio virtual en conjunto con otros recursos digitales, no así en los exámenes de Patología
Mione, Valcke and Cornelissen, 2013	No se encontraron diferencias significativas
Carlson et al., 2014	No se encontraron diferencias significativas
Tian et al., 2014	Mejores resultados en la identificación de estructuras histológicas con el microscopio virtual
Lee et al., 2019	Mejores resultados en el grupo que empleaba tanto microscopio virtual como óptico, con una menor variabilidad.

Tabla 2: Rendimiento académico de los estudiantes observado en cada publicación.

Helle *et al.* concluyó que los estudiantes que habían estado expuestos al microscopio virtual y a otros recursos digitales superaron de forma significativa a los controles históricos en la comprensión de la histología normal. En cambio, con el conocimiento de las muestras de Anatomía Patológica ocurrió al revés: los controles históricos superaron a los experimentales. La mejora en el conocimiento de las preparaciones de histología se debe a que las preparaciones virtuales permiten revisar y comparar las estructuras normales antes de centrar el estudio en la patología. En este artículo también se añadieron autoevaluaciones test para brindar a los estudiantes un aprendizaje más activo, lo cual propició una mejora en el rendimiento académico en contraposición a los controles históricos.

Tanto Mione *et al* como Carlson *et al*, realizaron diseños cruzados en los que los alumnos participantes eran distribuidos al azar en dos grupos. El primer grupo realizaba la primera parte del curso mediante inspección directa con el microscopio tradicional y la segunda, con microscopio virtual. El otro grupo llevaba a cabo el curso con el orden invertido: primero con el virtual y después con el óptico. Se realizaron evaluaciones después de cada una de las partes del curso, en las que no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos. Basándose en el reconocimiento de estructuras morfológicas, se observó que el rendimiento académico en los exámenes es independiente del método empleado. Mione *et al.* concluyeron que con el microscopio virtual y el óptico los resultados en el aprendizaje son equivalentes.

Lee *et al*, en su estudio de casos y controles, encontraron que el grupo que utilizaba tanto el microscopio virtual como el tradicional presentaba una menor variabilidad en la puntuación de los exámenes de laboratorio. Después de hacer un análisis estratificado por edad, sexo,

escuela y clase de los estudiantes, este grupo presentó un menor número de puntuaciones inferiores al 60% (calificación F; odds ratio, 0.336; $P < 0.001$) y más resultados superiores al 80% (calificación A; odds ratio, 2.084; $P < 0.001$). Además, encontró que el efecto positivo sobre el rendimiento académico del microscopio virtual era mayor en los alumnos que habían estado más expuestos a este.

Tian *et al* realizaron sus evaluaciones a los dos grupos de estudio mediante preguntas de opción múltiple, preguntas cortas, casos clínicos y preguntas de identificación de la estructura del tejido. Un grupo de 115 estudiantes empleó el microscopio virtual en su aprendizaje y el otro, de 114 estudiantes, el microscopio tradicional. Observaron que el grupo que utilizaba microscopio virtual mostraba una mejoría significativa en las puntuaciones globales del examen ($p < 0,05$). Estas diferencias a favor del microscopio virtual se hallaban en las preguntas de identificación de estructuras del tejido y de casos clínicos ($p < 0.05$). Las de opción múltiple y preguntas cortas no mostraban diferencia.

Braun *et al* compararon los datos agregados de los dos años anteriores con el grupo experimental en el que se introducía el microscopio virtual. El examen se realizó utilizando un microscopio óptico estándar. Se utilizaron las mismas láminas para cada año y fueron evaluadas por un mismo profesor siguiendo los mismos criterios. No se encontraron diferencias significativas en los resultados de los estudiantes, lo que corrobora, una vez más, que no hay disminución en el rendimiento de los estudiantes después de la introducción de esta tecnología.

Con respecto a la utilización del microscopio virtual para la evaluación de los alumnos, Anyanwu *et al.* encontraron ventajas con respecto al uso del microscopio óptico. Con la microscopía virtual se agiliza el proceso de examen. Previamente, se disponía de pocos microscopios ópticos para el elevado número de alumnos, por lo que tenían que esperar bastante tiempo entre las distintas preguntas, alargando el tiempo global del examen, con la consecuente fatiga de los estudiantes. Con la utilización de microscopios virtuales como herramienta para examinar a los alumnos, se disminuyó el tiempo de examen considerablemente, reduciendo de esta forma la fatiga de los estudiantes y mejorando su rendimiento.

6.2 RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS A ESTUDIANTES

De los artículos analizados, 14 presentan encuestas a los estudiantes. En ellas se valoran distintos parámetros del microscopio virtual: facilidad de uso, rapidez en descargar imágenes, agilidad al encontrar estructuras, resolución, eficacia, accesibilidad, uso colaborativo, etc. Además de las valoraciones, se incluyeron preguntas comparando ambos tipos de microscopios y, en algunas de las encuestas, un espacio para comentarios adicionales.

6.2.1 Preferencia global

En general los estudiantes encuestados encuentran ventajosa para su estudio la introducción de los microscopios virtuales (Kumar *et al.*, 2006; Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Gatumu *et al.*, 2014; Tian *et al.*, 2014; Brochhausen *et al.*, 2015; Vainer *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2019) y algunos resaltan que lo óptimo sería una utilización combinada de ambos microscopios (Braun and Kearns, no date; Harris *et al.*, 2001; Sağol *et al.*, 2015). En dos de los artículos un mayor porcentaje de estudiantes prefiere el uso exclusivo del microscopio virtual frente al uso combinado de los dos tipos de microscopios (Blake, Lavoie and Millette, 2003; Carlson *et al.*, 2014).

Para la mayoría de estudiantes el microscopio virtual facilitó el aprendizaje de la materia (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Lee *et al.*, 2019)

y su interés por ella (Harris *et al.*, 2001). Por ello, muchos de los alumnos le recomendarían el uso del microscopio virtual a otros estudiantes (Tian *et al.*, 2014).

Algunos estudiantes refieren que el microscopio virtual es útil para su preparación del examen (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Brochhausen *et al.*, 2015; Vainer *et al.*, 2017). La fatiga ocular y el mareo que referían algunos alumnos con el uso del tradicional disminuyen con el virtual (Braun and Kearns, 2008). De esta forma los estudiantes pueden utilizarlo para preparar el examen durante periodos más largos de tiempo. Un gran número de alumnos considera que tiene más posibilidades de aprobar si las clases son impartidas con microscopio virtual (Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012).

Un aumento de la capacidad de aprendizaje independiente e investigación fueron recalcados como características positivas del microscopio virtual (Tian *et al.*, 2014).

Los microscopios virtuales permiten que los estudiantes no necesiten adquirir destreza manual en el uso del instrumento. De esta forma se pueden centrar en aprender a identificar las estructuras sin distracciones. Por ello, muchos de los alumnos se ven beneficiados con los microscopios virtuales (Kumar *et al.*, 2006).

Además, las preparaciones virtuales generan una mayor uniformidad de aprendizaje: todos los estudiantes disponen de las mismas muestras y esto hace que se encuentren en igualdad de condiciones que el resto de sus compañeros (Blake, Lavoie and Millette, 2003). Antes de la introducción del microscopio virtual, muchos de los estudiantes se quejaban de que no todos los alumnos disponían de las láminas de las que eran examinados. Ahora esto ha dejado de ser un problema (Blake, Lavoie and Millette, 2003).

En los artículos más antiguos, los estudiantes muestran una clara preferencia porque el microscopio virtual se pueda utilizar sin conexión a internet (Blake, Lavoie and Millette, 2003). En publicaciones más recientes se valoran muy positivamente las páginas web (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010) que presentan, además de los microscopios virtuales, posibilidad de discusión interactiva (Sağol *et al.*, 2015), textos informativos asociados y una buena interfaz de usuario que sea también apta para dispositivos móviles (Brochhausen *et al.*, 2015).

En la Tabla 3 se enumeran los artículos realizados a partir de encuestas y las preferencias de los estudiantes observadas en las mismas.

Artículo	Preferencias de los estudiantes según las encuestas
Harris <i>et al.</i> , 2001	Prefieren la combinación de microscopio óptico con el microscopio virtual
Blake, Lavoie and Millette, 2003	Prefieren el microscopio virtual y no consideran necesario el microscopio óptico
Kumar <i>et al.</i> , 2006	Prefieren el microscopio virtual

Braun and Kearns, 2008	La mayoría de estudiantes refieren que se beneficiaron del microscopio virtual y la mitad de ellos consideran que lo ideal sería una combinación de ambos
Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010	Prefieren el microscopio virtual
Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012	Prefieren el microscopio virtual
Carlson et al., 2014	Prefieren el microscopio virtual y la mitad de los estudiantes refieren que no es necesario el microscopio óptico.
Gatumu et al., 2014	Prefieren el microscopio virtual
Tian et al., 2014	Prefieren el microscopio virtual
Brochhausen et al., 2015	Prefieren el microscopio virtual
Sağol et al., 2015	Prefieren la combinación de microscopio óptico con el microscopio virtual
Vainer et al., 2017	Prefieren el microscopio virtual
Lee et al., 2019	Prefieren el microscopio virtual

Tabla 3: Preferencias de los estudiantes observadas según cada publicación.

6.2.2 Motivación de los estudiantes

El aprendizaje con el microscopio virtual fue considerado como agradable por los alumnos (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010). Algunos referían que este era más entretenido de utilizar (Kumar et al., 2006; Sağol et al., 2015) y que estimulaba su aprendizaje (Harris et al., 2001).

Las muestras virtuales permiten que las preguntas del examen procedan de las mismas preparaciones que los estudiantes tienen disponibles para ver en clase, fomentando de este modo su estudio con detenimiento (Blake, Lavoie and Millette, 2003).

En cuanto a la opinión de los profesores con respecto a la motivación de sus alumnos, existen visiones enfrentadas. Algunos docentes señalan que con los microscopios virtuales los estudiantes participan activamente en su aprendizaje y se encuentran dispuestos a realizar trabajo colaborativo (Kumar et al., 2006).

Por el contrario, otros profesores se muestran preocupados de que al tener la posibilidad de ver las muestras fuera del laboratorio, los estudiantes no las inspeccionen con tanto interés en el aula y esto conlleve a que no realicen las preguntas necesarias a los profesores para una mejor comprensión (Collier *et al.*, 2012). Otros consideran que, sin los incentivos adecuados, los estudiantes no utilizan correctamente los materiales virtuales disponibles para ellos (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013).

6.2.3 Colaboración

Los microscopios tradicionales no se prestan fácilmente a un ejercicio grupal, mientras que los virtuales permiten que la muestra histológica sea visualizada por más de un alumno a la vez.

La mayoría de los estudiantes se benefician del trabajo colaborativo y se involucran en este (Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Collier *et al.*, 2012; Gatumu *et al.*, 2014; Sağol *et al.*, 2015). Prácticamente todos los estudiantes realizaron algún tipo de colaboración empleando el microscopio virtual (Braun and Kearns, 2008).

Muchos de ellos refieren haber empleado el microscopio virtual para ayudar a localizar estructuras y explicar algún aspecto de la enfermedad a sus compañeros (Braun and Kearns, 2008), lo que resulta una forma adecuada de aprendizaje (Collier *et al.*, 2012).

Sin embargo, algunos profesores se muestran preocupados porque la colaboración no sea necesariamente algo positivo. Esta podría implicar que uno de los estudiantes actuase como mero espectador mientras el otro se involucra activamente en el aprendizaje (Collier *et al.*, 2012). Además, los estudiantes que compartan un mismo microscopio virtual pueden tener distintas necesidades de aprendizaje para cada una de las muestras (Collier *et al.*, 2012).

6.2.4 Efectividad y facilidad de uso de los microscopios virtuales

El microscopio virtual es considerado más fácil de utilizar por los alumnos (Blake, Lavoie and Millette, 2003; Kumar *et al.*, 2006; Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Collier *et al.*, 2012; Sağol *et al.*, 2015; Vainer *et al.*, 2017). Esto se debe a que es más sencillo desplazarse por las preparaciones virtuales que por las físicas (Blake, Lavoie and Millette, 2003). Además, en algunos de los microscopios virtuales la orientación en la muestra es más fácil al disponer de una ventana con una visión a mínimo aumento de la preparación que actúa como mapa (Kumar *et al.*, 2006). El software de visualización del microscopio virtual es descrito como bastante intuitivo de utilizar (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010).

A pesar de la mayor sencillez de uso del instrumento se encuentran resultados discrepantes en si esto traduce en una mayor facilidad de aprendizaje de la asignatura por parte de los estudiantes. Algunas de las publicaciones refieren que esta se mantiene igual (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010), mientras que otras hallan una gran mejoría (Harris *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008).

El tiempo necesario para el estudio de las preparaciones se ve disminuido con el microscopio virtual (Harris *et al.*, 2001; Blake, Lavoie and Millette, 2003; Sağol *et al.*, 2015). Esto se debe principalmente a dos razones: la mayor sencillez de navegación y que se encuentren siempre enfocadas, al contrario de lo que ocurre con el microscopio tradicional. Una disminución del tiempo para localizar las estructuras conlleva una mayor eficacia en el aprendizaje y una menor frustración de los estudiantes (Harris *et al.*, 2001). A pesar de todo, algunos autores difieren en que el tiempo necesario para la inspección de las preparaciones se

vea disminuido con el microscopio virtual (Braun and Kearns, 2008). Ellos consideran que, independientemente del método, el tiempo necesario para navegar por la preparación debería ser el mismo.

En la mayoría de los casos los microscopios virtuales se encuentran en páginas web, por lo que la velocidad de internet será un factor determinante del tiempo y eficacia en su utilización. La mayor parte de los estudiantes considera que el tiempo de descarga para poder visualizar las preparaciones es lo suficientemente rápido para poder utilizar el microscopio virtual de manera efectiva (Braun and Kearns, 2008).

Los profesores también encuentran que los microscopios virtuales permiten disminuir el tiempo empleado en instruir cómo utilizar la tecnología, lo cual permite otorgar más tiempo a las explicaciones sobre la materia en sí. Los alumnos no tenían tantos problemas técnicos como con los microscopios tradicionales, lo que permitía a los profesores emplear su tiempo revisando las muestras con los estudiantes y ofrecerles una ayuda más individualizada (Gatumu *et al.*, 2014; Vainer *et al.*, 2017). Además, los estudiantes se pueden concentrar en la inspección de las estructuras al verse liberados del aprendizaje de las cuestiones de funcionamiento manual del instrumento (Collier *et al.*, 2012). La mayor facilidad de uso del microscopio virtual hace que los estudiantes puedan aprender por sí mismos y adquieran una mayor responsabilidad en su aprendizaje (Gatumu *et al.*, 2014).

6.2.5 Calidad de imagen de las preparaciones

La calidad de los microscopios virtuales fue calificada como no inferior a la de los tradicionales por los estudiantes (Harris *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2006; Sağol *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2019). Además, las imágenes de los microscopios virtuales siempre se encuentran enfocadas, con el contraste optimizado e iluminación ajustable (Kumar *et al.*, 2006).

Según Brochhausen *et al.* la calidad de las preparaciones virtuales debería ser definida en base a las condiciones e integridad de la sección histológica, la calidad de escaneo y la usabilidad de la imagen escaneada. Para que las láminas sean fáciles de usar deben tener un desplazamiento suave, varios aumentos, tiempos de acceso cortos y una adecuada orientación, así como una interfaz intuitiva y bien diseñada. (Brochhausen *et al.*, 2015).

6.2.6 Accesibilidad

Al contrario de lo que ocurre con el microscopio tradicional, el microscopio virtual puede ser accesible desde cualquier lugar. Esto supone una gran ventaja para los estudiantes, ya que les permite estudiar las preparaciones fuera de las horas de apertura de laboratorio, donde y cuando ellos deseen, desde su propio ordenador (Blake, Lavoie and Millette, 2003; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Vainer *et al.*, 2017). El lugar preferido por los estudiantes para acceder al microscopio fue desde su casa (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010).

La accesibilidad desde casa es para muchos alumnos el principal factor que determina una mayor eficacia del microscopio virtual frente al óptico. La flexibilidad de tiempo y ubicación que ofrece el microscopio virtual conlleva un aumento del tiempo que los alumnos le dedican a estudiar las preparaciones histológicas y, por lo tanto, una mejor comprensión de la materia (Braun and Kearns, 2008).

El acceso remoto a los servidores que contienen las láminas virtuales no está exento de problemas; las quejas más comunes son que la página web tarda en cargar o que algunos estudiantes no podían acceder desde sus ordenadores (Collier *et al.*, 2012).

6.3 FUNCIONALIDADES DEL MICROSCOPIO VIRTUAL VALORADOS POR LOS ESTUDIANTES

6.3.1 Posibilidad de comparación

El microscopio virtual abre la posibilidad de tener varias ventanas abiertas de forma simultánea, de forma que los estudiantes pueden inspeccionar distintas preparaciones histológicas a la vez. Esto es de gran utilidad para la comparación del tejido patológico con el tejido normal, para poder aprender de forma visual las diferencias entre ellos y asegurar una mejor comprensión de la materia (Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008; Helle, Nivala and Kronqvist, 2013; Sağol *et al.*, 2015).

Muchos estudiantes indican que cuando se enfrentan a la asignatura de Anatomía Patológica no llegaron a entender por completo las características normales de cada tejido (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013). Por ello, poder revisarlas a la vez les permite reforzar conceptos básicos de histología y comprender mejor lo que están estudiando.

6.3.2 Anotaciones

Otra característica propia del microscopio virtual, que no está presente en el microscopio tradicional, es la capacidad de hacer anotaciones sobre las propias láminas o acompañar a cada una de ellas de un texto explicativo. Esto permite que tanto alumnos como profesores señalen los puntos que consideran de interés para un posterior estudio, convirtiendo las muestras en una base sobre la que tomar apuntes personalizados para estudiar con detenimiento la materia (Vainer *et al.*, 2017). En la Figura 2 (Dee, 2009) se muestra un microscopio virtual con anotaciones y texto explicativo asociado.

La posibilidad de hacer anotaciones en las muestras histológicas fue valorada de forma muy positiva por los estudiantes (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Gatumu *et al.*, 2014; Vainer *et al.*, 2017). Los textos informativos auxiliares introducidos en las láminas virtuales por los profesores también fueron evaluados positivamente (Brochhausen *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2019).

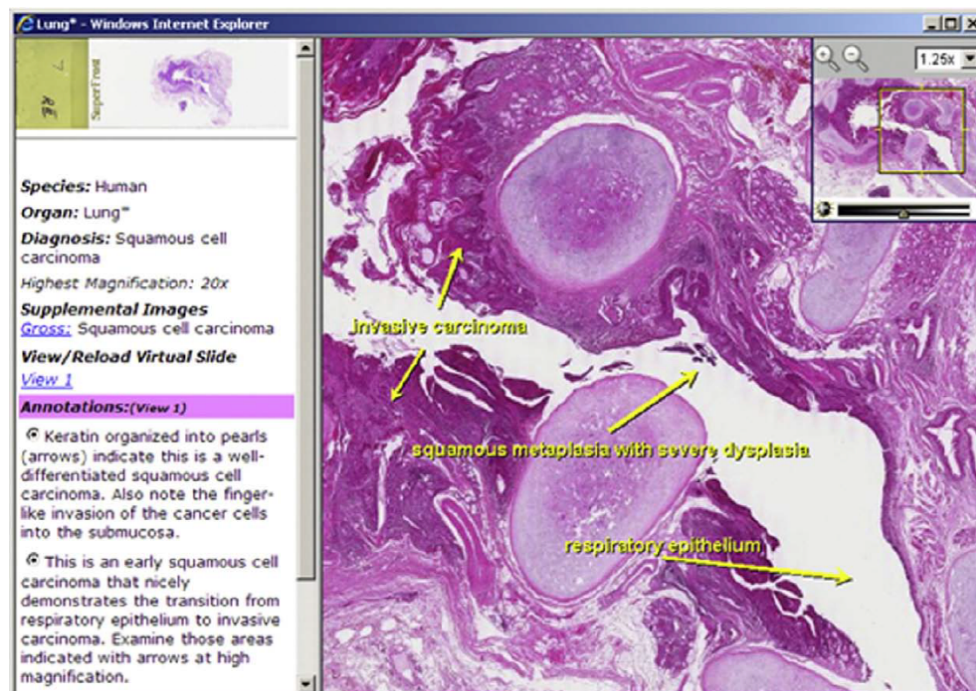


Figura 2: Microscopio virtual con anotaciones (*Virtual Slidebox/Human Histopathology Atlas*)

6.3.3 Funcionalidades deseadas

Los estudiantes refieren que prefieren aprender entendiendo la aplicación clínica de lo que estudian (Kumar *et al.*, 2006). El tener una plataforma en la que se incluyan las láminas digitales asociadas a un caso clínico puede ser de utilidad para los estudiantes (Braun and Kearns, 2008; Lee *et al.*, 2019).

También es interesante que los estudiantes dispongan de un texto explicativo junto con las preparaciones digitales, sirviéndoles de base para el estudio. (Brochhausen *et al.*, 2015). La combinación de narración e imágenes mejoró la comprensión y retención de los estudiantes. (Lee *et al.*, 2019)

Algunos estudiantes destacan la importancia de tener un foro de discusión para poder comentar las preparaciones y hacer preguntas (Lee *et al.*, 2019), mientras que otros lo consideran innecesario (Brochhausen *et al.*, 2015).

Las autoevaluaciones incluidas en la web del microscopio virtual fueron valoradas como excelentes herramientas para el aprendizaje (Gatumu *et al.*, 2014), ya que dan un feedback instantáneo a los estudiantes y propician un aprendizaje más activo.

7 DISCUSIÓN

El microscopio óptico fue empleado durante décadas como la herramienta de aprendizaje fundamental de los cursos de Histología y Anatomía Patológica. Con este instrumento los estudiantes se familiarizan con la morfología de las estructuras y adquieren una mayor comprensión de los conceptos teóricos explicados previamente en clase (Braun and Kearns, 2008).

Los microscopios no son simples atlas de imágenes estáticas, sino que permiten que los estudiantes adquieran habilidades prácticas que les serán útiles durante toda su carrera profesional. Con ellos se fomenta la capacidad de investigación y de aprendizaje independiente de los alumnos, haciéndolos partícipes en su formación de una forma más activa.

En los últimos años, con el avance de las nuevas tecnologías, surge el microscopio virtual, que no es más que un escáner que permite digitalizar toda una preparación histológica, creando un único archivo que contenga la totalidad de la muestra en alta resolución (Gu and Ogilvie, 2005). Los primeros microscopios diseñados con el fin de escanear los portaobjetos de vidrio fueron desarrollados en 1985 (Silage and Gil, 1985). Sin embargo, no fue hasta finales de los noventa cuando estos empezaron a utilizarse como herramientas para el aprendizaje (Dee, 2009). Con los años, muchas universidades lo han integrado en sus cursos de Anatomía Patológica (Drake, McBride and Pawlina, 2014), permitiendo a los alumnos disfrutar de la accesibilidad y eficiencia propia de los ordenadores a la vez que exploran las imágenes dinámicas como hacían anteriormente con el microscopio tradicional.

Las prácticas de laboratorio tienen como misión fundamental que los estudiantes aprendan a identificar áreas de relevancia diagnóstica de una muestra completa. Esto se puede conseguir mediante el microscopio virtual. Con él los estudiantes pueden alcanzar los objetivos curriculares de las prácticas sin necesidad de disponer de microscopios ópticos y portaobjetos para cada alumno, además del espacio para albergarlos (Tian *et al.*, 2014).

Los microscopios virtuales están cada vez más presentes en los laboratorios de Histología y Anatomía Patológica (Drake, McBride and Pawlina, 2014). Con el tiempo los microscopios virtuales han disminuido de precio de forma considerable (Saco *et al.*, 2016). El microscopio tradicional tiene bastantes costes asociados, como el de mantenimiento y reemplazo de las muestras cada cierto tiempo (Braun and Kearns, 2008). Por todo esto, ahora más que nunca, los microscopios virtuales pueden ser una adquisición razonable para un laboratorio.

El presente estudio evaluó las características del microscopio virtual en comparación con el tradicional, según lo publicado en dieciséis artículos que valoraban su implementación en distintas universidades. Las valoraciones de los microscopios virtuales se realizaron tanto mediante las opiniones subjetivas de los estudiantes recogidas en encuestas, como a través de pruebas que evaluaban el rendimiento académico de los alumnos que empleaban ambos métodos para su aprendizaje.

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento académico entre los estudiantes que utilizaban uno u otro tipo de microscopio. En las encuestas, el método virtual era ampliamente preferido. Los estudiantes, además, refieren que el microscopio virtual mejoró su productividad y eficiencia de estudio y que tuvo en general un impacto positivo en su

aprendizaje. La posibilidad de utilizarlo de forma cooperativa, las anotaciones en las muestras y disponer de una comparación entre el tejido normal y el patológico, fueron resaltadas por los estudiantes como características de gran utilidad del microscopio virtual.

Los hallazgos obtenidos en esta revisión concuerdan con los de otros análisis similares (Wilson *et al.*, 2016; Kuo and Leo, 2018).

Con los datos obtenidos de esta revisión se puede hacer una aproximación a las ventajas e inconvenientes que supondría la implementación de los microscopios virtuales en las universidades.

7.1 VENTAJAS DEL MICROSCOPIO VIRTUAL

7.1.1 Rendimiento académico

Los resultados indican que el conocimiento adquirido durante las prácticas de laboratorio es independiente del método de presentación de las muestras histológicas. El microscopio virtual es equivalente al microscopio óptico como herramienta de aprendizaje. Es decir, las muestras digitalizadas no son inferiores a las tradicionales en cuanto al rendimiento académico (Braun and Kearns, 2008; Mione, Valcke and Cornelissen, 2013; Carlson *et al.*, 2014).

Algunos artículos incluidos en el presente estudio sugieren que el microscopio virtual podría ser superior al tradicional al comparar las puntuaciones en los exámenes de los estudiantes (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013; Tian *et al.*, 2014). La diferencia en resultados de las pruebas es más marcada en las preguntas de identificación de estructuras y de casos clínicos (Tian *et al.*, 2014). Esta mejora en rendimiento se puede explicar por una mayor motivación de los estudiantes ante la novedad del microscopio virtual, que facilitó la participación más activa y mejoró su capacidad de memorización (Tian *et al.*, 2014).

En otras publicaciones se encontró que una combinación de ambos métodos podría resultar beneficiosa en términos de rendimiento académico para los estudiantes (Lee *et al.*, 2019).

En general, los estudiantes en las encuestas refieren una mayor eficiencia de aprendizaje con el microscopio virtual del que se ve reflejado en las evaluaciones. En la mayoría de los artículos no se encuentran diferencias significativas entre ambos en los exámenes, pero la valoración subjetiva de los estudiantes suele ser favorable al microscopio virtual. Las ventajas adicionales del método digital no se ven traducidas en una mejora significativa del rendimiento académico en la mayoría de los casos.

Atendiendo a los resultados académicos, el microscopio virtual podría emplearse de forma exclusiva en los laboratorios. Es una alternativa válida al tradicional que no muestra diferencias significativas en el aprendizaje de los estudiantes.

7.1.2 Accesibilidad

El microscopio virtual es accesible desde cualquier lugar y momento (Harris *et al.*, 2001; Blake, Lavoie and Millette, 2003; Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010). Con él los alumnos ya no ven restringido el estudio de las muestras a las horas de laboratorio. El aprendizaje flexible e independiente de la facultad hace que los estudiantes puedan dedicar más horas a su estudio. Además, el estudio independiente permite que los alumnos se puedan centrar en las muestras que les representan mayor dificultad, aprovechando el tiempo de manera más eficiente.

Del mismo modo que el microscopio virtual hizo posible el desarrollo de la telepatología en el ámbito clínico, también permite la educación a distancia en el ámbito docente. Esta teleenseñanza es compatible con la educación tradicional en las aulas y ofrece nuevas herramientas que pueden ser muy útiles para alumnos y docentes. El estudio a distancia de forma independiente anima a los estudiantes a asumir una mayor responsabilidad en su aprendizaje. De esta forma los alumnos adquieren habilidades de aprendizaje que les serán útiles durante toda su vida profesional (Rogers, 2000).

El estudio desde el hogar se puede realizar de forma guiada a través de anotaciones y textos adicionales añadidos a las láminas virtuales. Asimismo, el uso de internet permite la interacción y la comunicación continua entre estudiantes y profesores, de forma que estos pueden seguir planteando las cuestiones necesarias para comprender la materia.

Hay autores que defienden que, como los alumnos disponen de todas las preparaciones para inspeccionar en casa, podría optarse por explicar solo las principales durante las horas de laboratorio. De esta forma los estudiantes podrían construir su conocimiento de forma ordenada para entender lo esencial para después pormenorizar los detalles de distintas muestras de forma independiente (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013). Otros autores, al contrario, consideran que como el microscopio virtual permite una visualización de un mayor número de muestras en el mismo tiempo, es una ocasión para aprovechar más las clases de laboratorio (Harris *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2006; Collier *et al.*, 2012).

En los artículos recientes los alumnos prefieren que el microscopio virtual sea accesible desde páginas web (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010), que contengan más herramientas digitales para su aprendizaje como un foro que permita la discusión interactiva (Sağol *et al.*, 2015), o textos informativos asociados (Brochhausen *et al.*, 2015). Sin embargo, en las publicaciones más antiguas los alumnos encontraban útil que se pudiese acceder a las láminas digitales sin conexión a internet (Blake, Lavoie and Millette, 2003).

7.1.3 Replicación de muestras

Las láminas virtuales de una misma preparación pueden ser vistas por muchas personas a la vez. Esto permite que preparaciones únicas de las que no se podrían obtener múltiples secciones se puedan compartir a un número infinito de personas sin coste alguno. Compartir muestras entre distintas instituciones aumentaría de forma considerable la biblioteca de preparaciones virtuales de los que dispone cada una (Blake, Lavoie and Millette, 2003).

En el entorno clínico, la posibilidad de que una misma muestra pueda ser observada por varias personas a la vez, tanto a distancia como de forma presencial, facilita las segundas opiniones. También posibilita que el diagnóstico pueda ser realizado por un experto en la patología en concreto a kilómetros de distancia (Coleman, 2009).

En el ámbito académico las ventajas son similares. El microscopio virtual permite el trabajo cooperativo entre los estudiantes (Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Collier *et al.*, 2012; Gatumu *et al.*, 2014; Sağol *et al.*, 2015), así como realizar consultas a los profesores por correo electrónico, enviándoles capturas de pantalla de las áreas y estructuras que presentaban alguna dificultad (Collier *et al.*, 2012). La posibilidad de compartir las muestras digitales tiene un efecto positivo sobre la colaboración de los estudiantes y su comprensión de la materia.

Los microscopios virtuales permiten que las muestras de las que disponen los alumnos sean uniformes. Con los tradicionales, para obtener varias copias de una muestra había que realizar nuevos cortes que no siempre resultaban idénticos. Esto propiciaba quejas por parte de los

alumnos de que sus compañeros disponían de portaobjetos de mayor calidad en los que se identificaban con mayor facilidad las estructuras (Blake, Lavoie and Millette, 2003). La uniformidad de las láminas del microscopio virtual permite una estandarización del aprendizaje de laboratorio (Blake, Lavoie and Millette, 2003; Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008; Gatumu *et al.*, 2014). También facilita que los exámenes que evalúan la inspección de la totalidad de la muestra sean iguales para todos los alumnos (Kuo and Leo, 2018).

Con las preparaciones virtuales los profesores solo se tienen que asegurar de que una de ellas sea de calidad y proporcione ejemplos claros de la patología que están estudiando, al contrario de lo que ocurre con las tradicionales, que los profesores tienen que revisar una por una (Collier *et al.*, 2012).

La falta de variabilidad de las preparaciones virtuales es criticada por algunos autores. Mantienen que las preparaciones virtuales ideales pueden hacer creer a los alumnos que estas son siempre así (Collier *et al.*, 2012).

7.1.4 Eficacia de uso

El estudio de las preparaciones digitales es considerado por los alumnos como más eficiente por tres motivos: disponibilidad en cualquier lugar y momento (Braun and Kearns, 2008); facilidad de uso (Blake, Lavoie and Millette, 2003; Kumar *et al.*, 2006; Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Anyanwu, Agu and Anyaehie, 2012; Collier *et al.*, 2012; Sağol *et al.*, 2015; Vainer *et al.*, 2017), y rapidez de descarga de las muestras (Braun and Kearns, 2008). Además, el microscopio virtual cuenta con herramientas adicionales que son de gran utilidad para los estudiantes.

La interfaz de visualización del microscopio virtual suele estar diseñada para que el desplazamiento por la muestra se haga de forma muy intuitiva (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010). Los alumnos están acostumbrados al empleo de la tecnología y no encuentran dificultades en el manejo del programa.

En los microscopios virtuales la imagen está siempre enfocada y con contraste optimizado (Kumar *et al.*, 2006). Por ello los alumnos pueden olvidarse de los aspectos técnicos para centrarse en memorizar los aspectos de interés de la muestra.

El cambio de una lámina a otra también se hace de forma más rápida al tenerlas todas correctamente clasificadas y nombradas en el visor del microscopio virtual (Dee, 2009).

El visor del microscopio virtual cuenta con herramientas que facilitan el aprendizaje que no están presentes en el tradicional. A grandes aumentos, los microscopios virtuales cuentan con un “mapa” del tejido a menor aumento, lo que ayuda a los estudiantes a orientarse en la muestra y llegar con mayor rapidez a las estructuras de interés (Kumar *et al.*, 2006).

Los estudiantes pueden escribir anotaciones sobre la lámina virtual durante la clase para después estudiarlas. De esta forma pueden señalar las estructuras de interés según lo indicado por el profesor para centrarse en ellas cuando repasen desde casa. Por ello, los estudiantes encuentran las anotaciones de gran utilidad (Merk, Knuechel and Perez-Bouza, 2010; Gatumu *et al.*, 2014; Vainer *et al.*, 2017). Muchos refieren que las utilizan, junto con capturas de pantalla sacadas a las preparaciones, como base para redactar sus apuntes (Vainer *et al.*, 2017).

En los microscopios tradicionales solo era posible ver una muestra a la vez. Los alumnos no podían comparar el tejido normal al lado del patológico para entender bien sus diferencias. Esto es posible con el microscopio virtual, gracias a poder abrir varias ventanas a la vez con distintas preparaciones. Los estudiantes también podrían abrir a la vez patologías similares para

entender las diferencias entre ellas de una forma visual. Poder comparar varias muestras a la vez ayuda a los estudiantes en su aprendizaje y lo hace más eficaz (Kumar *et al.*, 2006; Braun and Kearns, 2008; Helle, Nivala and Kronqvist, 2013; Sağol *et al.*, 2015).

Las habilidades técnicas necesarias para ver las preparaciones con el microscopio virtual son más fáciles de adquirir. Con él los estudiantes inspeccionan las muestras en menor tiempo, lo que se traduce en una menor frustración de los estudiantes y una mayor motivación y eficacia de aprendizaje.

7.1.5 Beneficios pedagógicos

El microscopio virtual permite una educación más interactiva que con el tradicional. El aprendizaje interactivo se basa en una participación activa de los estudiantes, a los que se les da una retroalimentación inmediata (Holaday *et al.*, 2013). Un ejemplo de aprendizaje interactivo son las autoevaluaciones. La plataforma virtual en la que se encuentra el microscopio permite añadir tests que evalúen los conocimientos de los alumnos, que son de gran utilidad tanto para ellos como para los docentes.

Los profesores reciben estadísticas de los errores y aciertos en las autoevaluaciones, indicando cuáles son las partes de la materia en las que los estudiantes presentan más dificultades (Gatumu *et al.*, 2014). De esta forma pueden centrarse en las clases siguientes en repasar los conceptos que fallaron más alumnos. Gracias a que las autoevaluaciones proporcionan una retroalimentación inmediata de los errores cometidos, estas son gran utilidad para los alumnos (Gatumu *et al.*, 2014).

La integración de distintas materias se ve favorecida con los microscopios virtuales. En la plataforma de visualización de imágenes se podrían añadir, además de muestras de anatomía patológica, otras pruebas complementarias como imágenes radiológicas o resultados de laboratorio. De esta forma se podrían integrar los conocimientos clínicos de distintas asignaturas (Harris *et al.*, 2001; Coleman, 2009). Esto también podría emplearse para que los alumnos realizaran actividades interactivas de resolución de casos.

Con la plataforma virtual es posible integrar conocimientos de distintos años académicos (Dee, 2009). Por ejemplo, para los alumnos de Anatomía Patológica sería de gran utilidad disponer de las muestras que han estudiado los años anteriores en la asignatura de Histología.

En la plataforma virtual los profesores podrían proporcionar, además, un manual de laboratorio para guiar a los estudiantes durante su aprendizaje independiente (Blake, Lavoie and Millette, 2003). También podrían añadir explicaciones o señalar áreas de interés dentro de las muestras.

7.1.6 Ventajas para los profesores

Los profesores también se benefician de forma directa del microscopio virtual, dado que les permite aprovechar el tiempo de laboratorio en explicar a los alumnos las muestras de tejidos (Gatumu *et al.*, 2014; Vainer *et al.*, 2017). Con el microscopio tradicional algunos profesores invertían demasiado tiempo en explicar cómo funcionaba la herramienta y las preguntas de los alumnos muchas veces se centraban en aspectos técnicos, como en el enfoque de la muestra. Con el nuevo instrumento los alumnos son más independientes en su manejo y los docentes pueden centrarse en resolver las dudas sobre la materia (Gatumu *et al.*, 2014).

Para los profesores, convertir las preparaciones al formato digital supone escanearlas, etiquetarlas de forma adecuada y organizarlas según se vayan a explicar en clase (Coleman,

2009). Este esfuerzo inicial se ve compensado con no tener que preparar nuevas láminas, ya que las muestras digitales no se estropean.

El microscopio virtual es una herramienta útil para que los profesores preparen las clases. Muchos docentes refieren que acceden a los microscopios virtuales fuera de las horas de laboratorio (Gatumu *et al.*, 2014). Incluir un texto explicativo a las preparaciones virtuales puede ayudar a uniformizar la materia que imparten los distintos profesores. También podría ser de utilidad para que los nuevos profesores tengan una guía sobre la que explicar las muestras en clase (Vainer *et al.*, 2017).

7.2 DESVENTAJAS

7.2.1 Pérdida de habilidades manuales

Para moverse por la muestra con el microscopio virtual solo son necesarias nociones básicas de informática, ya que los visores de microscopio virtual son bastante intuitivos en su utilización. La imagen se encuentra siempre correctamente enfocada, con el contraste optimizado (Kumar *et al.*, 2006). Sin embargo, también conlleva a una pérdida de las habilidades manuales en el uso del microscopio tradicional (Gatumu *et al.*, 2014)(Collier *et al.*, 2012).

Los microscopios ópticos siguen siendo empleados en la práctica clínica de muchas especialidades. Adquirir cierta destreza manual con los microscopios tradicionales será útil para todos aquellos alumnos que necesiten emplearlos en el futuro. Por ello la microscopía óptica no debería ser completamente reemplazada por la virtual. En las encuestas algunos alumnos coinciden en que la combinación de ambos métodos sería lo ideal (Harris *et al.*, 2001; Braun and Kearns, 2008).

7.2.2 Distracciones provocadas

La introducción de la tecnología en las aulas suele apreciarse como algo positivo. Sin embargo, la implementación de las novedades digitales en la docencia no siempre se traduce en una mejora en el aprendizaje.

La introducción de la tecnología en las aulas cuenta con sus detractores, que mantienen que esta actúa como una fuente de distracción y provoca que los estudiantes no se centren en el aprendizaje. Los alumnos se entretienen con la tecnología, en lugar de aprender, lo que crea la ilusión de que están mostrando interés en la materia (Kulesza, Ii and Nezlek, 2010).

Las nuevas tecnologías brindan a los estudiantes una gran cantidad de información que estos no son capaces de filtrar, desincentivando su aprendizaje. Tratar con tanta información a la vez puede llevar a que los estudiantes se vean sobrecargados y esto resulte en distracción (Fried, 2008).

Los microscopios virtuales permiten que la cantidad de láminas disponibles para ser inspeccionadas por los estudiantes sean casi infinitas. Esto podría provocar que los alumnos se vean abrumados con tantas posibilidades y que no sepan identificar lo verdaderamente importante. Por ello, es esencial que los estudiantes sean guiados por los profesores en el aprendizaje virtual.

La opción de “multitarea” que abren los microscopios virtuales, al permitir que los alumnos puedan comparar varias muestras a la vez, hacer anotaciones, ver un texto explicativo y buscar todas las dudas con un simple clic, podría provocar que se distraigan con mayor facilidad. Al

dividir la atención en múltiples tareas, la concentración en el aprendizaje se reduce (Kulesza, Ii and Nezlek, 2010)

Las distracciones en el aula ocurren independientemente de si se emplean herramientas digitales, pero la tecnología podría provocar que estas se incrementen. Con el microscopio tradicional no existía la posibilidad de que los alumnos lo utilizaran con otra finalidad distinta a la académica, mientras que con el virtual podrían emplear el ordenador destinado a utilizarse como medio de visualización de las preparaciones para usos alternativos. Con los ordenadores los alumnos tienen acceso a internet, desde donde pueden encontrar múltiples formas de distraerse.

7.2.3 Ausencia de información negativa en los artículos analizados

Las desventajas de las herramientas digitales en el aula no aparecen reflejadas en la mayoría de los artículos de esta revisión. Esto se puede deber a que la mayor parte de las publicaciones analizan la perspectiva subjetiva de los estudiantes mediante encuestas.

El artículo de Collier *et al.*, en el que se analiza la opinión de los docentes mediante encuestas y entrevistas semiestructuradas, sí muestra la preocupación por que los alumnos no estén utilizando el microscopio virtual de manera eficiente durante el período de laboratorio. Algunos profesores mantienen que disponer de los microscopios fuera de las horas de clase disminuye la atención de los alumnos durante estas, ya que los estudiantes sienten que pueden postergar su aprendizaje. También se muestran preocupados de que la disminución de la atención en el aula conlleve a una peor comprensión de la materia al no poder preguntar al profesor las dudas sobre esta. Igualmente, ven aspectos negativos del uso cooperativo de los microscopios virtuales, como que este método de aprendizaje podría propiciar que solo uno de los dos alumnos que comparten pantalla tenga el control de esta y se beneficie del estudio de las muestras, mientras que el otro permanece pasivo (Collier *et al.*, 2012).

En el artículo de Helle *et al.*, en el que se recogen comentarios de los profesores, se muestran inquietos con que los estudiantes no utilicen de forma correcta los materiales virtuales sin los incentivos adecuados (Helle, Nivala and Kronqvist, 2013).

La tecnología por sí sola no mejora el aprendizaje. Debe ser administrada de forma adecuada y no debe emplearse únicamente porque sea más entretenida si esta no tiene un valor educativo a mayores (Kulesza, Ii and Nezlek, 2010). Su mal uso puede empeorar el proceso de aprendizaje, por lo que debe ser gestionada de forma eficaz para que los aspectos positivos superen a los negativos.

7.3 COSTES DE LOS MICROSCOPIOS VIRTUALES

Los microscopios virtuales han disminuido su coste con el paso de los años. Aun así, los costes iniciales de instalación siguen siendo altos (Dee, 2009; Paulsen, Eichhorn and Bräuer, 2010; Saco *et al.*, 2016). Los laboratorios deben invertir en un hardware adecuado para escanear las preparaciones y un software para visualizarlas. También es imprescindible disponer de una conexión a internet de alta velocidad y un servidor para poder almacenar la biblioteca de muestras digitales (Braun and Kearns, 2008).

Muchos autores justifican el alto coste de instalación con que suponen un ahorro a largo plazo. Con los microscopios virtuales no hay necesidad de disponer de uno para cada estudiante y los portaobjetos se pueden compartir sin coste alguno (Coleman, 2009). Un mismo escáner puede ser compartido por distintos departamentos (Saco *et al.*, 2016). Además, se eliminan los

costes de mantenimiento de los microscopios y reemplazo de las muestras (Braun and Kearns, 2008; Dee, 2009).

Como alternativa de bajo coste a la adquisición de un escáner podrían emplearse aquellos que se utilizan para la clínica junto con software gratuito de visualización (Paulsen, Eichhorn and Bräuer, 2010). También existen múltiples bibliotecas de láminas virtuales disponibles en la web. La página web digitalpathologyassociation.org dispone de un listado de repositorios de láminas virtuales de acceso gratuito. En él se nombran las principales bibliotecas de muestras digitales de distintas instituciones académicas.

7.4 BALANCE DE LAS VENTAJAS E INCONVENIENTES

El análisis llevado a cabo en esta revisión muestra que los aspectos positivos de la introducción de los microscopios digitales en la docencia superan a los posibles negativos. En los próximos años es posible que los microscopios virtuales se conviertan en una de las herramientas principales en el laboratorio de Anatomía Patológica y revolucionen la enseñanza de esta asignatura.

8 CONCLUSIONES

1. Los microscopios virtuales son una herramienta de gran utilidad para la docencia de Anatomía Patológica. Estos no son inferiores a los tradicionales en cuanto a rendimiento académico.
2. La calidad de imágenes es equivalente a la de los microscopios ópticos y el tiempo de descarga es lo suficientemente rápido.
3. El microscopio virtual es un instrumento al que los alumnos se adaptan rápidamente y encuentran sencillo de utilizar. Con las láminas virtuales los alumnos pueden inspeccionar la preparación de forma eficaz y pueden centrarse en su aprendizaje, ya que eliminan la barrera de la destreza manual necesaria para emplear los microscopios tradicionales.
4. Por otra parte, la microscopía virtual también añade la posibilidad de que el aprendizaje se realice de forma flexible, donde y cuando sea conveniente para el estudiante. Esta accesibilidad facilita que el estudiante pueda dedicar más tiempo a su aprendizaje.
5. Es imprescindible que los docentes guíen a los alumnos en su aprendizaje mediante el uso del microscopio virtual, ya que de esta forma podrán sacar mayor partido a esta herramienta.

9 REFERENCIAS

Alfaro Ferreres, L., García Rojo, M. and Puras Gil, A. M. (2001) 'Telepatología Dinámica', in *Manual de telepatología*, pp. 103–135.

Anyanwu, G. E., Agu, A. U. and Anyaehie, U. B. (2012) 'Enhancing learning objectives by use of simple virtual microscopic slides in cellular physiology and histology: Impact and attitudes', *American Journal of Physiology - Advances in Physiology Education*, 36(2), pp. 158–163.

Arraiza, N. *et al.* (2009) *Manual de microscopia*, Auxilab, S.L.

Blake, C. A., Lavoie, H. A. and Millette, C. F. (2003) 'Teaching Medical Histology at the University of South Carolina School of Medicine: Transition to Virtual Slides and Virtual Microscopes', *Anatomical Record - Part B New Anatomist*, 275(1), pp. 196–206.

Braun, M. W. and Kearns, K. D. (2008) 'Improved learning efficiency and increased student collaboration through use of virtual microscopy in the teaching of human pathology', *Anatomical Sciences Education*, 1(6), pp. 240–246.

Brochhausen, C. *et al.* (2015) 'A Virtual Microscope for Academic Medical Education: The Pate Project', *interactive Journal of Medical Research*, 4(2), p. e11.

Carlson, A. M. *et al.* (2014) 'A prospective, randomized crossover study comparing direct inspection by light microscopy versus projected images for teaching of hematopathology to medical students', *Anatomical Sciences Education*, 7(2), pp. 130–134.

Coleman, R. (2009) 'Can histology and pathology be taught without microscopes? The advantages and disadvantages of virtual histology', *Acta Histochemica*, 111(1), pp. 1–4.

Collier, L. *et al.* (2012) 'Optical versus virtual: Teaching assistant perceptions of the use of virtual microscopy in an undergraduate human anatomy course', *Anatomical Sciences Education*, 5(1), pp. 10–19.

Dee, F. R. (2009) 'Virtual microscopy in pathology education', *Human Pathology*. Elsevier Inc., 40(8), pp. 1112–1121.

Drake, R. L., McBride, J. M. and Pawlina, W. (2014) 'An update on the status of anatomical sciences education in United States medical schools', *Anatomical Sciences Education*, 7(4), pp. 321–325.

Ferrer-Roca, O. (2001) *Telemedicina*. Ed. Médica Panamericana.

Fried, C. B. (2008) 'In-class laptop use and its effects on student learning', *Computers and Education*, 50(3), pp. 906–914.

Gatumu, M. K. *et al.* (2014) 'Evaluation of usage of virtual microscopy for the study of histology in the medical, dental, and veterinary undergraduate programs of a UK University', *Anatomical Sciences Education*, 7(5), pp. 389–398.

Glatz-Krieger, K., Glatz, D. and Mihatsch, M. J. (2003) 'Virtual Slides: High-Quality Demand, Physical Limitations, and Affordability', *Human Pathology*, 34(10), pp. 968–974.

Gu, J. and Ogilvie, R. W. (2005) *Virtual Microscopy and Virtual Slides in Teaching, Diagnosis, and Research*.

Harris, T. *et al.* (2001) 'Comparison of a virtual microscope laboratory to a regular microscope laboratory for teaching histology', *Anatomical Record*, 265(1), pp. 10–14.

Helle, L., Nivala, M. and Kronqvist, P. (2013) 'More technology, better learning resources, better learning? Lessons from adopting virtual microscopy in undergraduate medical education', *Anatomical Sciences Education*, 6(2), pp. 73–80.

Holaday, L. *et al.* (2013) 'Preference of Interactive Electronic Versus Traditional Learning Resources by University of Michigan Medical Students during the First Year Histology Component', *Medical Science Educator*, 23(4), pp. 607–619.

Khalil, M. K., Abdel Meguid, E. M. and Elkhider, I. A. (2018) 'Teaching of anatomical sciences: A blended learning approach', *Clinical Anatomy*, 31(3), pp. 323–329.

Kulesza, J., Ii, G. D. H. and Nezlek, G. (2010) 'More technology, less learning?', *Proceedings of ISECON*, 9(December), pp. 4–13.

Kumar, R. K. *et al.* (2006) 'Integrating histology and histopathology teaching in practical classes using virtual slides', *Anatomical Record - Part B New Anatomist*, 289(4), pp. 128–133.

Kuo, K.-H. and Leo, J. M. (2018) 'Optical Versus Virtual Microscope for Medical Education: A Systematic Review', *Anatomical Sciences Education*, 12, pp. 678–685.

Lee, B. C. *et al.* (2019) 'A Web-Based Virtual Microscopy Platform for Improving Academic Performance in Histology and Pathology Laboratory Courses: A Pilot Study', *Anatomical Sciences Education*, 16, pp. 1–16.

Marín, D. and Romero, E. (2011) 'Sistemas de microscopía virtual: análisis y perspectivas.', *Biomédica*, 31(1), pp. 144–155.

Merk, M., Knuechel, R. and Perez-Bouza, A. (2010) 'Web-based virtual microscopy at the RWTH Aachen University: Didactic concept, methods and analysis of acceptance by the students', *Annals of Anatomy*, 192(6), pp. 383–387.

Mione, S., Valcke, M. and Cornelissen, M. (2013) 'Evaluation of virtual microscopy in medical histology teaching', *Anatomical Sciences Education*, 6(5), pp. 307–315.

Molin, J., Thorstenson, S. and Lundström, C. (2014) 'Implementation of large-scale routine diagnostics using whole slide imaging in Sweden: Digital pathology experiences 2006-2013', *Journal of Pathology Informatics*, 5(1), p. 14.

Mukhopadhyay, S. *et al.* (2018) 'Whole Slide Imaging Versus Microscopy for Primary Diagnosis in Surgical Pathology: A Multicenter Blinded Randomized Noninferiority Study of 1992 Cases (Pivotal Study)', *American Journal of Surgical Pathology*, 42(1), pp. 39–52.

Pantanowitz, L. *et al.* (2013) 'Validating whole slide imaging for diagnostic purposes in Pathology: Guideline from the College of American pathologists Pathology and Laboratory Quality Center', *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, 137(12), pp. 1710–1722.

Pantanowitz, L., Farahani, N. and Parwani, A. (2015) 'Whole slide imaging in pathology: advantages, limitations, and emerging perspectives', *Pathology and Laboratory Medicine International*. Dove Medical Press Ltd., p. 23.

Paulsen, F. P., Eichhorn, M. and Bräuer, L. (2010) 'Virtual microscopy-The future of teaching histology in the medical curriculum?', *Annals of Anatomy*. Elsevier GmbH., 192(6), pp. 378–382. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aanat.2010.09.008>.

Pickering, J. D. and Swinnerton, B. J. (2019) 'Exploring the Dimensions of Medical Student Engagement with Technology-Enhanced Learning Resources and Assessing the Impact on Assessment Outcomes', *Anatomical Sciences Education*, 12(2), pp. 117–128.

Rodríguez, A. Z. (2017) 'Aplicaciones de la microscopía en la histología y la biología celular', in Fortoul van der Goes, D. T. I. (ed.) *Histología y biología celular*, 3e. McGraw-Hill Education.

Rogers, D. L. (2000) 'A Paradigm Shift: Technology Integration for Higher Education in the New Millennium', *Educational Technology Review*, 19, pp. 19–28.

Saco, A. *et al.* (2016) 'Current Status of Whole-Slide Imaging in Education', *Pathobiology*, 83(2–3), pp. 79–88.

Sağol, Ö. *et al.* (2015) 'Transition to Virtual Microscopy in Medical Undergraduate Pathology Education: First Experience of Turkey in Dokuz Eylül University Hospital', *Türk Patoloji Dergisi*, 31(3), pp. 175–180.

Silage, D. A. and Gil, J. (1985) *Digital image tiles: a method for the processing of large sections*.

Tian, Y. *et al.* (2014) 'Virtual microscopy system at Chinese medical university: An assisted teaching platform for promoting active learning and problem-solving skills', *BMC Medical Education*, 14(1), pp. 1–8.

Vainer, B. *et al.* (2017) 'Turning microscopy in the medical curriculum digital: Experiences from the faculty of health and medical sciences at University of Copenhagen', *Journal of Pathology Informatics*, 8(1), pp. 1–16.

Wilson, A. B. *et al.* (2016) 'Meta-analysis and review of learner performance and preference: Virtual versus optical microscopy', *Medical Education*, 50(4), pp. 428–440.